



Impact de l'évolution de la gestion des plantations de café sur la diversité des oiseaux cavicoles dans les Ghats Occidentaux, Inde



Torres Ursula
Master 2 Recherche
Fonctionnement des
Ecosystèmes et
Anthropisation

Maître de stage :
Gérard Balent et Claude Garcia

Juin 2010

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier mes maîtres de stage Gérard Balent et Claude Garcia. Je leur dois cette expérience inoubliable. Je les remercie pour tous les conseils et leur soutien tout au long de mon stage.

J'adresse des chaleureux remerciements à Philippe Vaast pour son soutien dans le début de mon terrain. Je remercie C.G.Kushalappa et toute l'équipe du 'Forestry College' de Ponampet pour leur soutien logistique au terrain. Je remercie l'équipe de l'Institut Français de Pondichéry pour leur accueil dans le début de mon stage. Ma profonde gratitude à Vidya Rao, son soutien au terrain et son soutien moral m'ont vivement aidé. Une pensée spéciale pour la communauté de jeunes chercheurs du Kodagu (Mar, Francisco, Jenu, Mandy, Fabien, Johannes, et Sasha).

Je remercie tous les agriculteurs du Kodagu pour m'avoir accueilli (presque) toujours avec un gros sourire. J'exprime ma gratitude aux familles d'accueil, en particulier Vinna et Suresh pour m'avoir fait partie de leur famille.

J'adresse des chaleureux remerciements à Laurent Raison pour son soutien technique dans l'étape préliminaire au terrain. Je remercie Michel Goulard pour son aide et suggestions dans l'analyse des données. Je remercie à toute l'équipe de l'INRA Dynafor pour son accueil à mon retour en France.

Je remercie profondément ma famille pour son soutien inconditionnel.

Sommaire

Résumé.....	4
Introduction.....	5
Différentes pratiques de gestion des plantations de café dans les Ghats Occidentaux	5
Conséquences des plantations de café sur la biodiversité	6
Evaluation de l'impact anthropique.....	6
Les oiseaux dans les plantations de café	6
La communauté d'oiseaux cavicoles comme indicateur	7
Matériel et méthodes	9
Description de la zone d'étude	9
Etude des oiseaux	10
Données sur les peuplements forestiers et le contexte paysager	13
Etude de la gestion du café.....	14
Traitement de données.....	14
Résultats	15
Classification des sites en fonction des différent groupes de descripteurs écologiques.....	15
Approche des relations espèces et peuplements forestiers au niveau des communautés d'oiseaux	17
Richesse spécifique d'oiseaux cavicoles et structure des peuplements forestiers.....	18
Approche par guildes	20
Approche par espèces	21
Discussion	24
Communauté d'oiseaux et richesse spécifique d'oiseaux cavicoles	24
Richesse spécifique des guildes	25
Présence des espèces selon les caractéristiques des peuplements forestiers et du contexte paysager.....	26
Co-occurrence d'oiseaux entre espèces d'oiseaux et espèces d'arbres	27
Méthodologie.....	27
Conclusion.....	29

Résumé

Cette étude est une tentative de rendre compte de l'état des systèmes agroforestiers à base de café dans les Ghats Occidentaux (Inde) à travers les oiseaux cavicoles. Les plantations de café sont gérées selon un degré d'intervention humaine. Au sein des plantations, les peuplements forestiers sont altérés et en particulier ils peuvent être complètement transformés par l'introduction de l'espèce exotique *Grevillea robusta*. Nous avons exploré le potentiel de la communauté des oiseaux cavicoles en tant qu'indicateur de l'état des systèmes agroforestiers à base de café. Nous avons échantillonné 13 espèces d'oiseaux cavicoles par la méthode de repasse de chant sur différentes plantations de café. Leur présence a été associée aux caractéristiques des peuplements forestiers, au contexte paysager et aux pratiques de gestion du café. Nous avons trouvé que la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles est positivement influencée par la richesse spécifique d'arbres et le diamètre à hauteur de poitrine moyen. Ces deux éléments sont fortement affectés par la présence de *Grevillea robusta*. Il semble que la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles diminue fortement à partir d'un seuil de 20% de *Grevillea robusta*. Les membres de cette communauté répondent différemment aux caractéristiques des peuplements forestiers. En particulier les excavateurs primaires qui sont les oiseaux les plus touchés par la présence de *Grevillea robusta*.

Mots clés : Ghats Occidentaux, café, *Grevillea robusta*, oiseaux cavicoles, indicateur

Abstract:

This paper is an assessment of the coffee based agroforestry system health in the Western Ghats (India), using cavity-nesting birds as indicators. Coffee plantations are modified at different degrees. Within the plantations, forest tree populations are altered and can be totally replaced by an exotic species *Grevillea robusta*. We sampled 13 cavity-nesting species along the plantations using the playback method. Their presence was described using the characteristics of forest tree populations, landscape and management of the coffee. We found that the species richness of cavity-nesting birds was positively influenced by the tree species richness and the average diameter at breast height. Both of these characteristics are negatively affected by the presence of *Grevillea robusta*. The species richness of cavity-nesting birds showed a strong decrease with a percentage higher than 20 % of *Grevillea robusta*. The members of this community responded differently to the forest tree population's characteristics. The primary excavators were the most affected by the presence of *Grevillea robusta*.

Key words: Western Ghats, coffee, *Grevillea robusta*, cavity-nesting birds, indicator

Introduction

La chaîne de montagnes des Ghats Occidentaux (Karnataka, Inde) se prolonge le long de la côte sud ouest de l'Inde. Elle fait partie, avec le Sri Lanka, des « hotspot » de biodiversité (Myers et al. 2000). La pression anthropique dans cette zone est importante (Hannah et al. 1994). On y trouve des points de très forte densité de population humaine (Cincotta et al. 2000). Les activités anthropiques menacent fortement les Ghats Occidentaux, notamment avec la déforestation, la fragmentation des habitats et la transformation des forêts en cultures. Le couvert forestier a considérablement diminué les dernières décennies. Une étude réalisée dans la partie sud des Ghats Occidentaux a estimé une perte de 26% du couvert forestier pour une période de 22 ans (1973-1995) (Jha et al. 2000). Avec cette diminution s'accompagne une augmentation de la surface de forêt dégradée (à canopée ouverte) de 27%, des zones agricoles (11%) et des plantations forestières (7%). Le café est une des activités agricoles qui est en expansion. Dans certaines zones, comme le district¹ de Kodagu (Karnataka), la culture du café a doublé de 1997 à 2007, et occupe aujourd'hui 33 % de la surface du district de Kodagu (Garcia et al. 2009) Mon travail de Master porte sur l'évaluation de la biodiversité des plantations de café sous ombrage à partir d'un groupe indicateur, les oiseaux cavicoles.

Différentes pratiques de gestion des plantations de café dans les Ghats Occidentaux

Les systèmes agroforestiers à base de café dans les Ghats Occidentaux sont particulièrement complexes. La culture de café est souvent associée à d'autres cultures comme le poivre (*Piper nigrum*) et la cardamome (*Elletaria cardamomum*) (Decroix and Chretien 2007). Le café est dépendant d'arbres d'ombrage, qui protègent les bourgeons floraux pendant la saison sèche. Sur certaines plantations, le couvert forestier a été conservé. Suite à une amélioration des systèmes d'irrigation, et à l'utilisation d'une espèce de café plus résistante (robusta, *Coffea canephora* var *robusta*), un basculement vers un autre type de culture s'est produit. Les arbres forestiers sont extirpés et remplacés par une espèce exotique d'origine australienne, le chêne argenté (*Grevillea robusta*). L'exploitation de cette espèce pour son bois représente un revenu supplémentaire pour les planteurs. Alors que cela n'était pas nécessairement envisageable avec les espèces forestières (Cheynier 2006). De plus, le chêne argenté présente une croissance rapide et grâce à son écorce rugueuse, il constitue un bon tuteur pour le poivre. Enfin, cette espèce a simplifié les pratiques de gestion des plantations. Elle permet en effet une pénétration de lumière modérée, les planteurs ne

¹ Un district est une division administrative d'un état indien.

sont donc plus amenés à effectuer la taille de la canopée contrairement au cas des arbres forestiers (Decroix and Chretien 2007).

Conséquences des plantations de café sur la biodiversité

Un patron similaire du changement de pratiques de gestion a été observé dans autres plantations dans le monde. En Amérique Latine, un gradient de perte du couvert forestier a été constaté, avec un passage de cultures ‘rustiques’ à des monocultures sans couvert forestier. Les études réalisées sur l’impact des plantations de café sur la biodiversité convergent vers les mêmes conclusions. La richesse spécifique de la faune et la flore dans les plantations traditionnelles est plus importante que celle des monocultures (Moguel and Toledo 1999; Perfecto et al. 2003; Mas and Dietsch 2003) et dans certains cas, elle est comparable à celle des forêts naturelles. Cependant, ce type de patron n’est pas observé pour les espèces spécialistes (rapaces, insectivores terrestres, frugivores), qui sont fortement touchées par la moindre modification de la forêt primaire.

Evaluation de l’impact anthropique

Pour évaluer le degré de transformation anthropique, étudier toutes les caractéristiques de la biodiversité des forêts est souvent très complexe aussi, utiliser un indicateur peut s’avérer utile. Les espèces indicatrices sont un outil efficace et pratique pour résoudre des problèmes de conservation, restauration et gestion des habitats (Bani et al. 2006). Le choix d’un groupe indicateur se base sur une identification facile des espèces, représenté par un nombre relativement important d’espèces et dont le suivi est relativement facile, fiable et peu coûteux (Niemi and McDonald 2004). Les espèces indicatrices peuvent décrire l’état abiotique et biotique de l’environnement et leurs réponses face à des changements peuvent être transposées sur d’autres espèces aux besoins écologiques similaires (Niemi and McDonald 2004). Dans le cas de plantations de café, les oiseaux ont souvent été utilisés comme indicateurs.

Les oiseaux dans les plantations de café

Dans les régions tropicales, certains auteurs considèrent que les plantations de café, principalement sous ombrage, sont des spots de diversité d’oiseaux. Certaines études ont montré que la richesse spécifique en oiseaux dans les plantations était comparable à celle de forêts naturelles (Donald 2004). Les plantations de café sous ombre peuvent être des refuges pour les oiseaux migrateurs pendant la saison sèche (Greenberg et al. 1997a).

Moguel & Toledo (1999) ont montré que dans les plantations gérées de façon traditionnelle (en conservant les espèces natives), conservaient une forte richesse d’oiseaux. Greenberg et al. (1997a) ont trouvé au Mexique, qu’entre des plantations de café traditionnelles (sous couvert naturel) et des plantations sous couvert dominant du genre *Inga*, la diversité en oiseaux est

similaire. Ils ont, par ailleurs étudié la diversité d'oiseaux dans les plantations de café au Guatemala. Trois types de plantations sont observés dans cette zone : sous couvert du genre *Inga* du genre *Gliricidia*, ou sans couvert. Ils ont observé des fortes similarités entre les trois types de plantations mais la diversité en oiseaux était appauvrie par rapport aux habitats naturels adjacents (Greenberg et al. 1997b). Il semblerait que cette différence s'explique par le faible nombre d'espèces végétales présentes dans ces plantations ainsi que par la faible hauteur de la canopée (donc une stratification verticale moins complexe). Les caractéristiques des peuplements forestiers peuvent influencer la diversité des oiseaux.

La structure du paysage peut jouer sur la diversité d'oiseaux. Perfecto et al. (2003) ont montré qu'il existait une corrélation avec la distance qui sépare les plantations des fragments de forêt naturelle, ce qui met en évidence l'importance de l'échelle et la structure du paysage pour rendre compte de la diversité des oiseaux.

L'élagage intensif peut également avoir un effet sur la diversité d'oiseaux. La taille des arbres pour contrôler l'ombrage pourrait réduire les ressources disponibles pour les oiseaux. Certains sont très dépendants des fruits provenant des plantes épiphytes (Greenberg et al. 1997a). Il a été démontré expérimentalement que la présence d'épiphytes favorise la diversité d'oiseaux dans les plantations de café sous ombrage (Cruz-Angon and Greenberg 2005). Les pratiques de gestion sembleraient avoir un impact sur les communautés d'oiseaux.

La communauté d'oiseaux cavicoles comme indicateur

Les oiseaux cavicoles sont les oiseaux qui utilisent des cavités naturelles, des cavités creusées par d'autres espèces ou par eux-mêmes dans des arbres vivants, affaiblis ou morts (Scott et al. 1977). Cette communauté d'oiseaux est nettement structurée et définie par les interactions entre les membres qui la constituent. Elle est composée à la base de la guildes des excavateurs primaires qui sont en général les pics. Les excavateurs primaires (généralement les pics) creusent des cavités dans des arbres vivants, affaiblis ou morts. Les excavateurs secondaires ou 'weak excavators' (les sittelles par exemple) peuvent creuser des cavités mais utilisent aussi les cavités produites par les excavateurs primaires. Ces cavités, suite au départ du résident précédent, peuvent aussi être occupées d'un côté par des utilisateurs secondaires comme des chauves-souris, des écureuils ou des petits mammifères, ou par des nicheurs secondaires comme les oiseaux diurnes (rapaces par exemple) ou nocturnes (hiboux). Les nicheurs secondaires dépendent principalement des deux guildes précédentes et de la disponibilité des cavités naturelles. Parmi les oiseaux cavicoles certaines espèces sont donc partiellement (excavateurs faibles) ou complètement (nicheurs secondaires) dépendantes d'autres espèces (excavateurs primaires) pour

la production d'une ressource (cavités). Des relations de compétition pour l'accès aux cavités disponibles peuvent exister au sein de cette communauté. La nature et intensité des interactions entre les individus et espèces de cette communauté varient selon les caractéristiques de l'habitat (disponibilité de cavités naturelles) (Aitken and Martin 2007). La communauté d'oiseaux cavicoles est structurée par ce qu'on a dénommé le réseau des nids ('nest web') (Martin and Eadie 1999; Blanc and Walters 2007; Drever et al. 2008). Les ressources centrales requises ou fournies par les membres sont les cavités. Les membres sont organisés hiérarchiquement et il existe des liens intra et inter guildes.

Dans le cas particulier des pics, leur rôle dans les écosystèmes forestiers a déjà été étudié. Au sein des espèces cavicoles, Martin et Eadie (1999) ont montré une forte corrélation positive entre l'abondance des nicheurs secondaires et l'abondance de pics. Au niveau de l'ensemble des espèces d'oiseaux, plusieurs études dans les régions tempérées ont permis d'établir une corrélation positive entre la richesse spécifique d'oiseaux et la richesse spécifique des pics à l'échelle du paysage (Drever et al. 2008; Mikusiński et al. 2001). Drever et al. (2008) suggèrent que les pics peuvent être des bons indicateurs de la richesse spécifique totale des oiseaux forestiers. Ils peuvent également favoriser d'autres espèces en termes d'alimentation. Ils génèrent des sources de sève (pour les colibris, fauvettes, insectes, écureuils) (Anonyme 1999) et par ailleurs, en enlevant l'écorce des arbres, ils mettent à nu des proies potentielles pour d'autres oiseaux. (Bull & Jackson (1995) *in* Drever et al. 2008).

Les pics ont une forte affinité pour la forêt (Winkler et al 1995 *in* Mikusinski 2001). Certains auteurs considèrent que ce groupe est un des plus exigeants en terme de besoins écologiques parmi les oiseaux forestiers (Mikusiński et al. 2001). Ils sont très dépendants des arbres pour leurs activités de recherche alimentaire ainsi que pour nicher. Ils utilisent souvent des arbres qui sont peu appréciés par les gestionnaires de forêts (morts, affaiblis ou espèces présentant peu d'intérêt). Le choix des pics de l'habitat repose sur les caractéristiques des peuplements forestiers (densité d'arbres, présence d'arbres matures avec un DBH² important, présence d'arbres morts) (Roberge et al. 2008; Garcia-del-Rey et al. 2009). Le DBH est un des critères privilégiés du choix de l'arbre pour nicher (Santharam 2006) La modification des forêts peut donc affecter fortement les pics. Les pics sont souvent les espèces les plus touchées par la fragmentation de la forêt et la modification de son structure (Bani et al. 2006).

² Diameter at breast height=Diamètre à hauteur de poitrine (1.37m)

En conclusion, la communauté d'oiseaux cavicoles est un indicateur écologique intéressant à plus d'un titre. Ils sont un bon révélateur de la richesse totale en espèce. Par leur diversité et leur complémentarité fonctionnelle ils permettent de rendre compte du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Ils sont également un bon indicateur de la gestion des milieux forestiers par leur sensibilité à la structure des peuplements forestiers (densité d'arbres, diamètres...). Dans le cadre de notre étude, nous chercherons à évaluer la capacité de l'ensemble de la communauté d'oiseaux cavicoles à rendre compte de l'état et de la dynamique des systèmes agroforestiers à base de café des Ghats Occidentaux. Dans un deuxième temps, nous chercherons à mettre en évidence d'éventuelles différences de réponse selon les guildes et selon les différentes espèces de la communauté d'oiseaux cavicoles face aux différentes caractéristiques des plantations (structure du peuplement, contexte paysager, gestion du café,). Enfin nous chercherons à identifier des éventuels liens entre les différentes guildes et les espèces de cette communauté d'oiseaux.

Matériel et méthodes

Description de la zone d'étude

Cette étude a été menée dans les Ghats Occidentaux en Inde. Cette zone biogéographique se prolonge tout au long de la côte ouest de l'Inde et englobe plusieurs districts du pays. La zone d'étude se trouve plus précisément dans le district de Kodagu (Etat du Karnataka, Inde) (Figure 1a). Cette zone présente un gradient pluviométrique très marqué associé à un gradient altitudinal (Figure 1b-c). Ces conditions entre autres, ont conduit à la mise en place de différents types de végétation (Figure 1d). On distingue en particulier trois grands ensembles forestiers. La forêt dense humide sempervirente à l'ouest, la forêt décidue sèche dans la partie orientale et comme transition entre ces deux zones, la forêt décidue humide. L'étude s'est effectuée dans la saison sèche (Janvier-Mai 2010). Cette étude a été réalisée dans le cadre de trois projets de recherche : le projet européen CAFNET³, le projet ANR Biodiversité BIODIVALLOC ⁴et le projet ANR POPULAR⁵ focalisées sur l'étude de la biodiversité des systèmes agroforestiers et sur leur exploitation durable tout en satisfaisant les besoins des planteurs et des populations locales.

³ Coffee agro-forestry in Central America, East Africa and India

⁴ Biodiversity and Valuation Tools for Localised Productions

⁵ Politiques publiques et gestion paysannes de l'arbre et la forêt

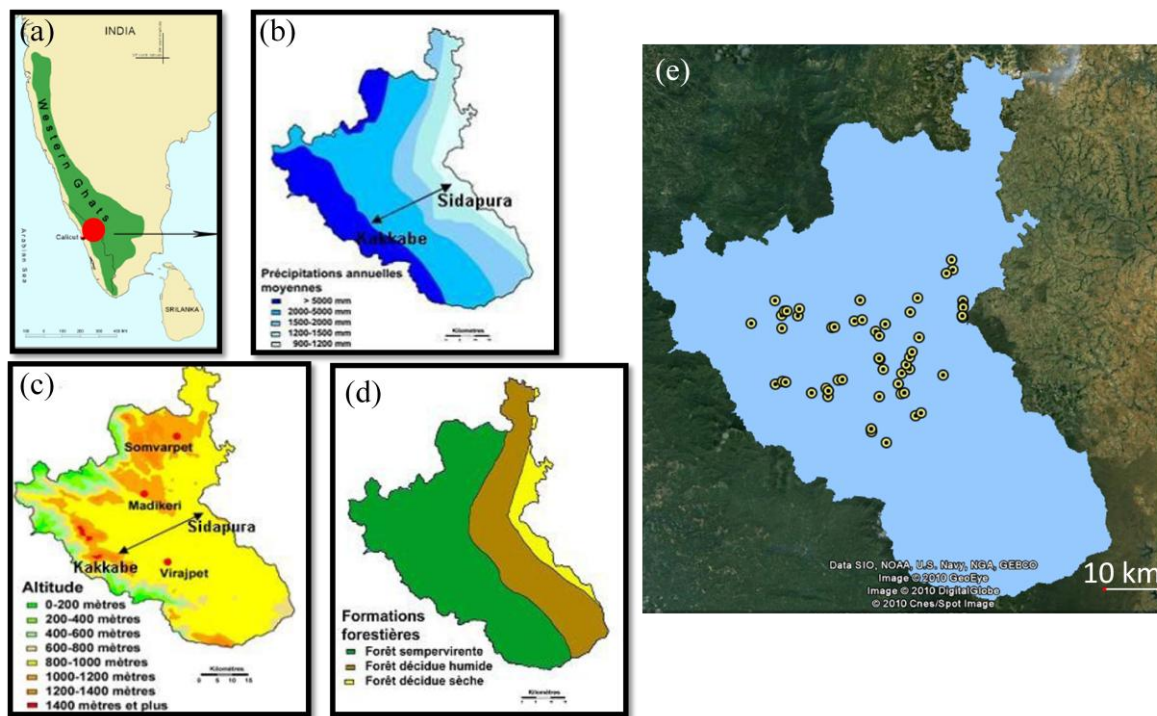


Figure 1: (a) Localisation de la zone d'étude dans les Ghats Occidentaux (point rouge) (b) Répartition des isohyètes (c) Carte altitudinale (d) Répartition des forêts dans le district de Kodagu e) Répartition des sites étudiés (Source : Figure (a) <http://www.insectscience.org>, (b)(c)(d) Institut Français de Pondichéry (e) Google Earth

Etude des oiseaux

La répartition des oiseaux cavicoles a été abordée en présence-absence: une liste des espèces présentes dans les différents types de plantations de café a été établie à partir de la méthode de la repasse de chant ('call playback'). Cette méthode consiste à solliciter des réponses au près des différentes espèces d'oiseaux à partir de la diffusion *in situ* de l'enregistrement de leur manifestations sonores (chants, cris, tambourinages pour les pics). La réponse est provoquée principalement à travers leur comportement de marquage territorial. La réactivité est d'autant plus importante que la repasse s'effectue pendant la période de reproduction. Cette technique a été utilisée avec succès dans plusieurs études (Ratcliffe et al. 1998; Allen et al. 2004; Conway et al. 2004; Boscolo et al. 2006; Rios-Chelen and Garcia 2007; DesRochers et al. 2008). Cette technique permet de diminuer le biais lié à une mauvaise identification éventuelle par l'observateur car la réponse à la stimulation vocale est spécifique d'une espèce donnée. De plus, les espèces discrètes qui sont difficilement observables, peuvent être détectées par cette méthode (Sutherland 2006). Dans le cas particulier des pics, l'échantillonnage par la repasse de chant est considérée comme la méthode la mieux adaptée (Martin and Eadie 1999).

Espèces étudiées

Treize espèces cavicoles et une espèce non cavicole résidentes ont été choisies. Un des critères de choix a été l'occurrence de l'espèce dans les plantations de café. D'un autre côté, il était important que l'espèce ne soit pas ubiquiste. Les espèces ubiquistes s'adaptent bien à des changements de leur habitat et ne sont pas des bons indicateurs. La saison de reproduction des espèces devaient correspondre à la période d'étude. Les mâles en général deviennent plus territoriaux et les femelles plus réceptives. La probabilité que les espèces répondent au playback est alors accrue pendant cette période. Une description de la biologie et de l'écologie des espèces est présentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 1). L'espèce non cavicole choisie (*Celeus brachyurus*) est un pic qui niche dans les nids de fourmis. L'intérêt de prendre cette espèce est d'avoir un point de comparaison des exigences écologiques d'une espèce non cavicole.

Nom de l'espèce	Type d'oiseau cavicole	Statut	Régime alimentaire	Période de reproduction	Taille (cm)	DBH (cm) des arbres où ils nichent
<i>Dendrocopos nanus</i>	Excavateur primaire	Endémique	Insectivore	Mars-Avril	13	52,5±25,09
<i>Hemicircus canente</i>		Résidente		Novembre-Mars	16	56,8±12,76
<i>Picus chlorolophus</i>		Résidente		Mars-Mai	27	56,8±12,76
<i>Dinopium javense</i>		Résidente		Février-Avril	28	NA
<i>Picus xanthopygaeus</i>		Résidente		Janvier-Mai	29	28,3±9,79
<i>Dinopium benghalense</i>		Semi-endémique		Mars-Avril	29	43,2±16,03
<i>Chrysocolaptes lucidus</i>		Résidente		Décembre-Mars	33	54,1±12,03
<i>Dryocopus javensis</i>		Résidente		Janvier-Mars	48	NA
<i>Siita frontalis</i>	Excavateur secondaire	Résidente	Insectivore	Janvier-Mai	12	NA
<i>Gracula indica</i>	Nicheur secondaire	Endémique	Omnivore	Avril-Juin	29	NA
<i>Psittacula cyanocephala</i>		Endémique	Frugivore	Décembre-Avril	36	47,7±16,56
<i>Psittacula columboides</i>		Endémique		Décembre-Mars	38	57,64±10,91
<i>Ocyrceros grizeus</i>		Endémique		Janvier-Mai	59	95,5±31,84
<i>Celeus brachyurus</i>	Espèce non cavicole	Résidente	Insectivore (fourmis)	Février-Juin	25	NA

Tableau 1 Description des espèces sélectionnées pour l'étude. Les informations sur la taille et le DBH (Diameter at breast height) proviennent d'études réalisées en Inde. (Source : (Santharam 2006; Gokula et al. 1999; Del Hoyo et al. 2002; Maheswaran and Balasubramanian 2003)

Acquisition des chants

La première étape a consisté à collecter les chants des oiseaux (janvier-mars). Les chants ont été obtenus avec un enregistreur (Edirol R-09HR Roland) muni d'un microphone et d'une parabole, à une résolution de 16bit pour le débit binaire et à une fréquence de 44.1 kHz. Parmi les 14 espèces choisies, j'ai directement effectué des enregistrements de qualité pour 7 d'entre elles. Ces enregistrements ont été nettoyés et amplifiés avec le logiciel Audacity®. Pour le reste des

espèces, les chants ont été fournis par un ornithologue⁶ local ou extraits d'une base de données⁷ des chants des oiseaux du monde. Il était important d'essayer d'utiliser au maximum des enregistrements provenant de la zone d'étude afin de limiter d'utiliser des dialectes étrangers non reconnus par les individus locaux.

Repassse de chant

Avant de commencer la phase de repasse de chant, un test exploratoire a été réalisé. Les chants ont été testés dans diverses plantations. Une session de playback a été élaborée pour chaque espèce en fonction de son comportement de chant sur le terrain. Cette étape a permis de tester si les chants diffusés aboutissaient à une réponse.

Mes sites d'étude ont été choisis à partir de sites déjà étudiés par le projet CAFNET. En premier des villages ont été choisis aléatoirement au niveau du bassin versant du Cauvery puis au sein de ces villages, des plantations de café ont été choisies aléatoirement. Au sein de chaque plantation, des transects (50 m) ont été choisis de façon aléatoire pour une étude de la végétation des peuplements forestiers. Mes sites d'étude se trouvent au centre de 55 de ces transects (Figure 1e). Lorsque plusieurs sites se trouvent au sein de la même plantation, ils sont au moins distants de 200 m afin de minimiser les risques d'auto corrélation spatiale et préserver l'indépendance entre les échantillons (Anonyme 1999; Dudley and Saab 2003).

Pour la repasse de chant, j'ai utilisé une valise de repasse composée de haut-parleurs et d'une batterie. Le volume a été réglé de façon à ce qu'une personne entende les émissions sonores à une distance de 100 m. La repasse de chant s'est déroulée les mois de mars et avril 2010. Trois sites ont été visités par jour le matin entre 6h30 et 12h00 car les pics sont très actifs dans cette plage horaire (Anonyme 1999). La repasse de chant a été effectuée deux fois sur l'ensemble des sites afin d'augmenter la probabilité de détection des espèces. Pour diminuer l'effet de l'heure, l'ordre des sites a été changé lors du deuxième passage. Pendant toute la séance de 'playback', j'ai noté la présence des espèces qui ont répondu à la repasse de chant et aussi la présence de celles qui se sont présentées tout au long de la séance dans un rayon de 100 m. Une espèce a été considérée comme présente lorsqu'elle a été détectée dans le premier ou deuxième passage. La séance de repasse a duré 70 min. Elle est composée d'une séquence de sessions de repasse des 14 espèces choisies. L'ordre de passage va de l'espèce la plus petite à l'espèce la plus grande afin de diminuer les chances que les espèces petites soient perturbées par la présence d'espèces grandes

⁶ Sharad Apte (<http://www.birdcalls.info/>)

⁷ <http://xeno-canto.org>

(Anonyme 1999). Une session de playback dure 5 min et elle est composée de trois phases. La première phase ('pré-playback') consiste en une minute de silence où j'observais si l'espèce était présente dans le site. La deuxième phase ('playback') correspond à la diffusion de l'enregistrement (3 min approximativement). La dernière étape (post-playback) consiste à nouveau en une minute de silence. Une réponse à la repasse était considérée comme positive lorsque l'oiseau n'était pas présent dans l'étape pré-playback mais se manifestait (visuellement ou auditivement) à partir de la deuxième étape de la session. Lorsque une espèce répond positivement, j'arrête la diffusion de l'enregistrement afin d'éviter de perturber l'animal et je laisse écouler un intervalle de silence avant de passer à l'espèce suivante. Un enregistrement est composé de la séquence «30s de chant - 20s de silence» répétée trois fois. Pour deux espèces de pics (*Chrysocolaptes lucidus* et *Celeus brachyurus*) pour lesquelles je disposais les tambourinages, l'enregistrement était composé de la séquence suivante « 30s de chant - 20s silence - 30s de tambourinage - 20s de silence » répétée deux fois. Un intervalle de deux minutes de silence séparait la diffusion du chant de chaque espèce.

Données sur les peuplements forestiers et le contexte paysager

Des données sur la végétation et sur le paysage ont été fournies par le projet CAFNET qui porte sur une étude de la végétation des systèmes agroforestiers à base de café du district de Kodagu (unpublished data). Les données sur la végétation ont été recueillies selon la méthode 'variable width transect' (Sheil et al. 2003) sur des transects de 50 m. Les données ont été collectées dans les transects où se trouvent mes sites d'étude. Je dispose ainsi de données sur la densité d'arbres totale et la densité d'arbres excluant *Grevillea robusta* (arbres/ha), le pourcentage de *Grevillea robusta*, le pourcentage d'*Areca catechu* (une espèce cultivée dans la zone). La circonférence des troncs a été mesurée avec un ruban métrique à une hauteur de 1,37 m du sol ('breast height'). Avec cette mesure j'ai calculée le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) moyen du transect et le DBH maximal et minimal. La surface terrière de chaque arbre est calculée (surface de la section de l'arbre à 1,37 m du sol). La surface terrière du transect (m²/ha) est la somme des surfaces terrières de tous les arbres pour 1 ha de forêt. Le pourcentage du couvert de la canopée a été mesuré avec un densitomètre sphérique. La richesse spécifique d'arbres au niveau du transect et au niveau de la plantation a été mesurée. Pour compléter ces données, j'ai effectué un relevé de la hauteur moyenne des arbres (m), la densité des arbres morts et la densité d'arbres de café (arbres/ha). Pour cela, j'ai placé un quadrat de 25 m par 25 m dont le centre était celui de mon site d'étude. J'ai mesuré 4 à 5 arbres avec un clinomètre et j'ai estimé la hauteur pour le reste des arbres présents dans le quadrat. J'ai compté le nombre d'arbres morts et le nombre d'arbres de café pour cette même surface.

Les données sur le paysage sont les distances minimales entre mes sites d'étude et les différents types d'occupation du sol du district de Kodagu. Ces distances ont été calculées à partir d'une carte élaborée par les chercheurs du projet de la classification de l'occupation du sol (résolution 0,5 ha) (unpublished data). Les différents types d'occupation du sol sont les plantations de café à canopée ouverte et fermée, les constructions, les rizières, les champs agricoles irrigués, les plantations de teck, les étendues d'eau, les milieux ouverts, les prairies et les forêts. De plus, je dispose des données sur la pluviométrie (mm/an) et l'altitude (m) de mon site d'étude.

Etude de la gestion du café

J'ai réalisé une enquête auprès des planteurs sur les pratiques de gestion du café. J'ai recueilli des informations sur la fréquence d'utilisation des fertilisants et des pesticides, sur la fréquence de taille de la canopée des arbres d'ombrage et sur l'utilisation d'un système d'irrigation.

Traitement de données

Pour le traitement des données, nous avons utilisé le logiciel R. Une analyse canonique des correspondances a été réalisée afin d'étudier la composition de la communauté des oiseaux et la relation avec les caractéristiques des peuplements forestiers (module *BiodiversityR*). Nous avons réalisé une analyse des composantes principales (ACP) pour les variables quantitatives (sur les peuplements forestiers et le contexte paysager) et une analyse factorielle de correspondances pour les variables qualitatives (sur la gestion du café) (module *Ade4TkGUI*). A l'issue de ces analyses, nous avons réalisé des classifications hiérarchiques ascendantes avec la distance euclidienne et le critère de Ward afin d'obtenir de classes homogènes selon les trois descripteurs écologiques (peuplements forestiers, contexte paysager et gestion). Compte tenu de la faible taille de l'échantillon, nous avons utilisé des tests non paramétriques pour les comparaisons de moyennes (Kruskal Wallis) de la richesse spécifique et pour le test de corrélation (Spearman). Le test de Dunn a été utilisé pour la comparaison multiple entre classes à effectif déséquilibrés. Nous avons modélisé la réponse de la richesse spécifique d'oiseaux et la présence des espèces par de modèles linéaires généralisés d'erreur binomiale. La réponse de la richesse et la présence de chaque espèce ont été modélisées en fonction des variables de la végétation et du paysage-géographie (distance à des étendues d'eau, à des constructions, à des prairies, à des milieux ouverts et à des forêts, pluviométrie et altitude). La présence des nicheurs secondaires a été modélisée en fonction de la présence de l'ensemble excaveurs primaires. La sélection des variables s'est effectuée à partir d'un modèle complet saturé par la méthode pas à pas selon le critère AIC (Akaike's Information Criterion) (module *MASS*). Le modèle réduit a été ensuite simplifié selon le test de la déviance. On a enlevé une variable explicative du modèle simplifié, si la déviance augmentait significativement par rapport au modèle simplifié complet alors on a gardé la variable.

Résultats

Parmi les 14 espèces sélectionnées pour cette étude, 13 ont été détectées au cours de la campagne d'écoute. Seul *Picus xanthopygaeus*, une espèce cavicole, n'a pas pu être détectée. Le nombre minimal et maximal d'espèces détectées par point d'écoute varie entre 2 et 10 espèces.

Les cartes de la répartition des espèces dans la zone d'étude montrent qu'aucune espèce ne présente d'une distribution agrégée. Les 13 espèces contactées ont donc été intégrées dans les analyses. Dans cette étude, nous avons choisi de nous concentrer sur la mise en relation de la présence des espèces avec de facteurs environnementaux et de laisser de côté l'analyse de la probabilité de détection de chaque espèce.

Classification des sites en fonction des différent groupes de descripteurs écologiques

Nous avons utilisé l'enchaînement classique, d'une analyse factorielle suivie d'une classification ascendante hiérarchique à partir des abscisses des sites le long des axes principaux. Ainsi, on réduit la taille initiale des tableaux de variables explicatives de la présence/absence des espèces. Nous avons utilisé l'analyse de composantes principales (ACP) et l'analyse factorielle des correspondances (AFC). Pour la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), nous avons utilisé la distance euclidienne et le critère de Ward (Lapchin and Boll. 1981). Le nombre de composantes retenues dans chaque analyse ainsi que le nombre de classes conservées suite à la CAH sont présentés dans le tableau 2.

Type d'analyse	Variables	Nombre de composantes utilisées dans la CAH	% Variance expliquée	Nombre de classes conservées à l'issue de la CAH
ACP	Structure des peuplements forestiers (14 variables)	3	55,90%	3
	Contexte paysager (12 variables)	2	49,30%	3
AFC	Gestion du café (4 variables)	1	6,03%	3

Tableau 2 Classification des sites à partir des variables environnementales Le nombre de variables par groupe est indiqué entre parathèses. Le nombre de classes ont été obtenu à partir d'une classification hierarchique sous la méthode de Ward.

Classification selon les variables de structure des peuplements forestiers

Les trois classes de sites décrivent trois types d'habitat. La classe 1 regroupe les sites présentant des caractéristiques d'un habitat plutôt naturel. Cette classe présente des fortes valeurs de la densité d'arbres (excluant *Grevillea robusta*) et la densité d'arbres morts (Tableau3). Le pourcentage moyen de *Grevillea robusta* est plus faible et la richesse spécifique d'arbres est importante par rapport aux deux autres classes. La classe 2 décrit un habitat intermédiaire avec une densité d'arbres (en excluant Gr) intermédiaire, un pourcentage de *Grevillea* et une richesse

spécifique d'arbres intermédiaire. La classe 3 regroupe des sites d'un habitat plus modifié avec un pourcentage de *Grevillea* plus important, le DBH (moyen, maximal et minimal) faibles et une richesse spécifique d'arbres faible.

Classe	Densité d'arbres (nombre/ha)	Densité d'arbres (excluant <i>G.r</i>) (nombre/ha)	Densité d'arbres morts (nombre/ha)	Densité d'arbres de café (nombre/ha)	% <i>Grevillea robusta</i>	% <i>Areca catechu</i>	Hauteur moyenne des arbres (m)
1	467±317,2	397±206,8	15,3±21,4	1667±1124,7	10,4±16,07	5,3±11,90	10,8±2,36
2	239±109,6	167±81,6	3±8,0	1330±654,3	26,6±22,88	0,2±0,85	15,6±3,99
3	793±411,2	195±167,4	3,6±7,1	2149,3±986,6	72,2±23,67	0,0	13,9±3,28

Classe	DBH moyen (cm)	DBH min (cm)	DBH max (cm)	Surface terrière (m²/ha)	% Couvert de la canopée	Richesse en arbres (exploitation)	Richesse en arbres (transect)
1	26,4±5,46	9,6±1,12	75,1±36,68	25,3±7,98	64,2±20,32	41±7,7	16±5,8
2	30,4±5,92	10,3±2,54	106,3±57,71	32,6±18,48	68,4±19,98	31±13,2	12±4,5
3	17,7±3,49	9,7±0,24	38,5±14,32	21,0±16,42	74,1±14,23	22±5,1	4±3,2

Tableau 3: Moyenne ±Déviation Standard des variables de peuplement forestier pour les trois classes obtenues par ACP et CAH

Classification des sites à partir des variables de contexte paysager

La classe 1 correspond à des sites éloignés des occupations du sol marquées par les activités humaines (constructions, milieux ouverts, rizières, champs irrigués, plantations de teck) (Tableau 4). La classe 2 regroupe des sites moyennement éloignés. La classe 3 regroupe les sites situés à proximité des occupations du sol marquées par activités humaines.

Classe	Pluviométrie (mm/an)	Altitude (m)	Plantations à canopée fermée	Plantations à canopée ouverte	Constructions
1	4623±1461	935±67	319±699	268±701	1609±935
2	1730±331	906±43	80±187	91±206	745±811
3	4507±1191	936±35	9±22	44±78	660±567

Classe	Milieu ouvert	Etendue d'eau	Prairie	Forêt naturelle	Rizière	Cultures irriguées	Teck
1	1963±1681	2118±543	2406±3873	806±725	517±786	28416±9380	25461±7484
2	1104±628	370±219	6611±3001	2469±1932	204±235	8087±5628	6923±4426
3	609±401	465±338	4341±1573	3335±2889	126±105	21128±5249	17770±5532

Tableau 4 Moyenne ±Déviation Standard des variables du contexte paysager pour les trois classes obtenues par ACP et CAH

Classification selon les pratiques de gestion du café

La classe 1 regroupe les sites d'étude où les plantations sont gérées de la façon la moins intensive : absence de système d'irrigation, pas d'utilisation déclarée de pesticides ni de fertilisants, pas d'entretien de la canopée des arbres pour contrôler l'ombrage. Les sites

appartenant à la classe 2 sont gérés de façon moyennement intensive, l'utilisation de pesticides est absente. Dans 69% des sites appartenant à cette classe les gestionnaires appliquent des fertilisants 2 fois par an. 77% des sites possèdent un système d'irrigation, et dans 52% des sites la taille des arbres se fait très fréquemment (chaque année). La classe 3 regroupe les sites gérés de la façon la plus intensive. Dans 64 % de sites, les gestionnaires appliquent des fertilisants et pesticides deux fois par an. Dans 57% des cas la taille des arbres se fait très fréquemment et 79% des sites possèdent un système d'irrigation.

Approche des relations espèces et peuplements forestiers au niveau des communautés d'oiseaux

Les relations entre la composition des communautés d'oiseaux et la structure des peuplements forestiers ont été abordées à l'aide d'une analyse canonique des correspondances (CCA). Deux espèces de pics (*Hemicircus canente* et *Dryocopus javensis*) ont été exclues de cette analyse en raison de leur rareté dans l'échantillon. L'axe 1 explique 7,7% et l'axe 2 4,6% de la variance. Suite à un test de permutation de Monte Carlo (200 permutations), le pourcentage de *Grevillea robusta* est la seule variable significative ($p < 0,05$). Sur le plan (CCA1, CCA2) de la CCA, le % de *Grevillea* s'oppose à l'ensemble des autres variables caractéristiques des forêts plus naturelles : le DBH moyen et maximal des arbres, richesse spécifique en espèces d'arbres (Figure 2). Les communautés d'oiseaux s'organisent donc le long d'un gradient qui oppose les plantations de *Grevillea* aux plantations plus naturelles.

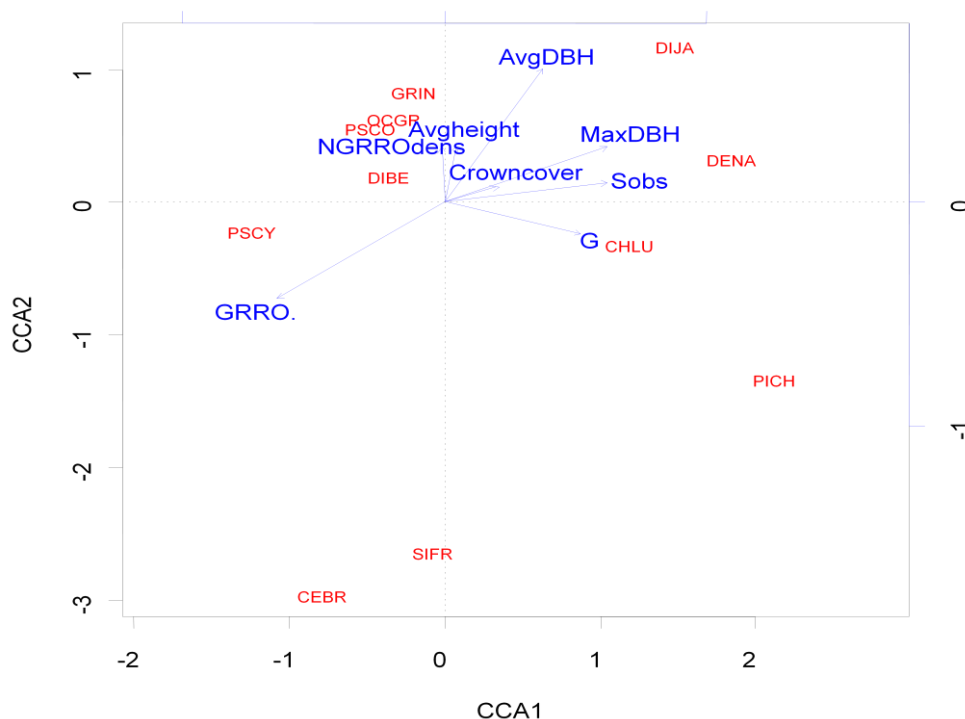


Figure 2 Plan factoriel CCA1, CCA2 de l'analyse canonique de correspondances oiseaux (en rouge) x caractéristiques des peuplements forestiers (flèches bleues). CEBR *Celeus brachyurus*, CHLU=*Chrysocolaptes lucidus*, DENA=*Dendrocopos nanus*, DIJA=*Dinopium javense*, DIBE= *Dinopium benghalense*, GRIN=*Gracula indica*, OCGR= *Ocyrceros grizeus*, PICH=*Picus chlorolophus*, PSCO=*Psittacula columboides*, PSCY= *Psittacula cyanocephala* SIFR (*Sitta frontalis*), AvgDBH (DBH moyen), Avgheight=Hauteur moyenne des arbres, Crowncover (% couvert de la canopée), G=Surface terrière, GRRO=% *robusta*, MaxDBH=DBH maximal, NGRROdens=Densité d'arbres (excluant *G.r.*), Sobs=Richesse spécifique d'arbres

Richesse spécifique d'oiseaux cavicoles et structure des peuplements forestiers

Effet de *Grevillea robusta*

La richesse spécifique d'oiseaux cavicoles a tendance à diminuer avec l'augmentation du pourcentage de *Grevillea robusta* (Figure 3). Cette diminution semble s'accroître à partir de 20%, pour se stabiliser au-delà de 60%. Lorsque l'on représente cette relation en tenant compte de la densité d'arbres (sans *Grevillea robusta*), la relation entre richesse spécifique et G.r. est différente (Figure 4). Quand la densité d'arbres se trouve comprise entre 0 et 290 arbres/ha (Figure 4 a,b,c), la chute du nombre d'espèces cavicoles semble être plus accentuée. Lorsque la densité d'arbres est plus importante, entre 200 et 740 arbres/ha (Figure 4 d,f,g), on observe une légère augmentation de la richesse spécifique et à partir de 20 % de *G. robusta*, on observe une chute de la richesse spécifique.

La richesse spécifique d'oiseaux cavicoles semble augmenter lorsque la richesse spécifique d'arbres augmente (Figure 5) et se stabilise à une richesse spécifique d'arbres de 11.

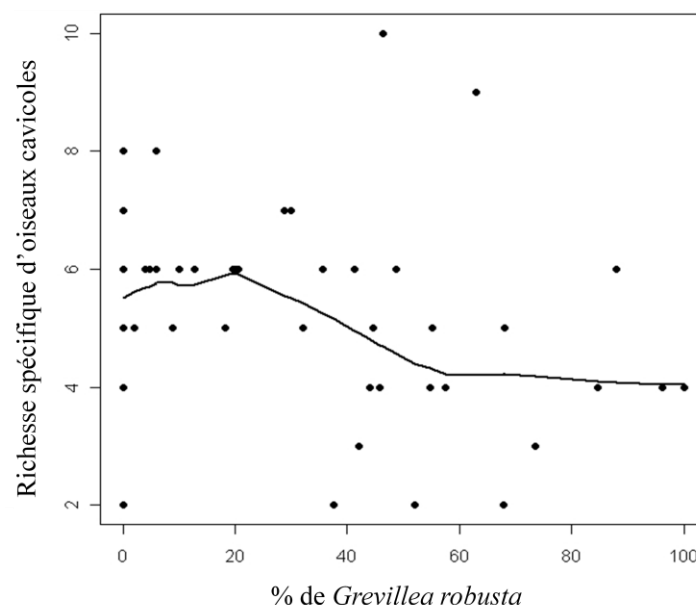


Figure 3 : Relation entre la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles et le pourcentage de *Grevillea robusta*. Tendence (courbe noire) de type LOWESS (Locally Weighted Scatterplot Smoothing, Cleveland & Loader, 1996).

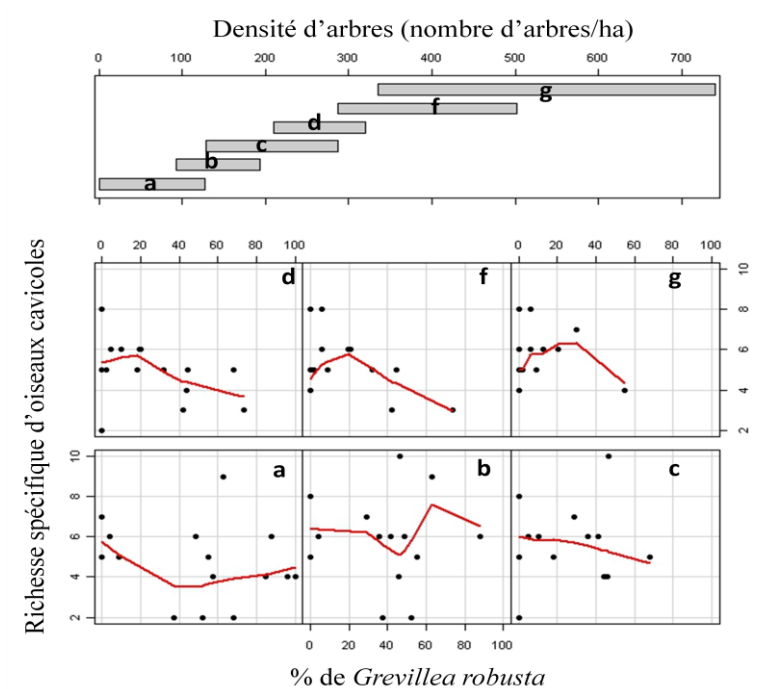


Figure 4 Relation entre la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles et la richesse spécifique d'arbres. Tendence (courbe noire) de type LOWESS (Locally Weighted Scatterplot Smoothing, Cleveland & Loader, 1996)

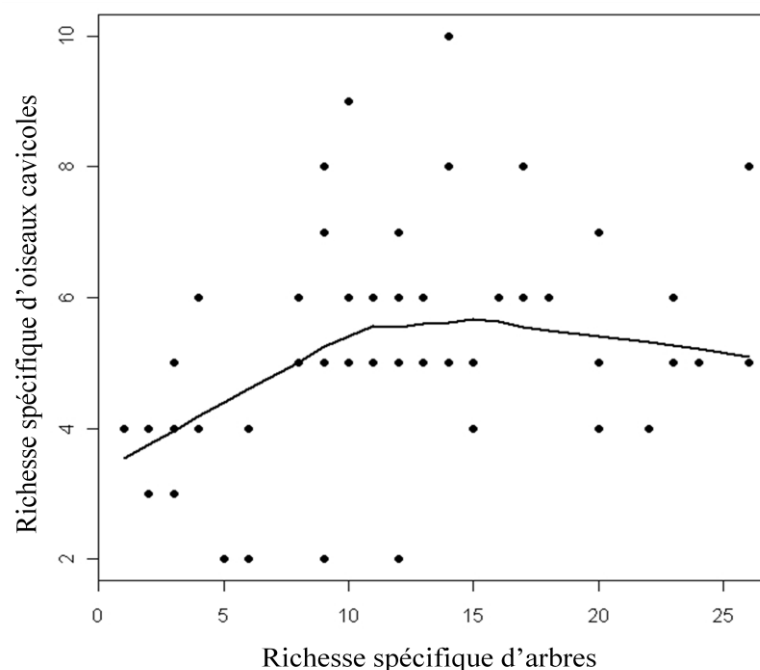


Figure 5: Relation entre la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles et la richesse spécifique d'arbres. Tendence (courbe noire) de type LOWESS (Locally Weighted Scatterplot Smoothing, Cleveland & Loader, 1996)

Comparaisons selon les différentes classifications des habitats, des paysages et des pratiques de gestion

La richesse spécifique d'oiseaux cavicoles ne varie pas significativement entre les 3 classes de structure de peuplements forestier (Statistique de Kruskal Wallis $H=5,22$; $df=2$, $p>0,05$; $n1=22$;

$n_2=24$; $n_3=9$), entre les classes de contexte paysager ($H=0,70$; $df=2$; $p>0,05$; $n_1=9$; $n_2=26$; $n_3=20$) et entre les classes de pratiques de gestion ($H=3,07$; $df=2$; $p>0,05$; $n_1=15$; $n_2=35$; $n_3=5$). Par contre on observe une différence significative entre 3 classes de pourcentage de *Grevillea robusta* définies par les experts forestiers locaux (Classe1 : 0%, Classe 2 : 1-40%, Classe 3 : >40%) ($H=7,14$; $df=2$; $p<0,05$; $n_1=17$; $n_2=19$; $n_3=19$). Le test de comparaison multiple de Dunn indique que la richesse spécifique de la classe 2 est significativement supérieure à celle de la classe 3 ($p<0,05$), les classes 1 et 2, et 1 et 3 ne différant pas significativement entre elles.

Modélisation des relations entre richesse en oiseaux, structure des peuplements forestiers et contexte paysager à partir d'analyses GLM

Après avoir simplifié le modèle pas à pas par le critère AIC, les variables significatives ont été retenues par le test de déviance. Le modèle identifiée par cette procédure de sélection à un seuil de 10%, contient deux variables d'habitat : la richesse spécifique d'arbres et le DBH moyen (Tableau 5).

Variable à expliquer	Variables explicatives retenues ($\alpha=0,05$)	Variables explicatives retenues ($\alpha=0,10$)	Direction de la réponse	% Déviance expliquée par le modèle
Richesse spécifique d'oiseaux cavicoles	Aucune	Richesse spécifique d'arbres	+	17,30%
		DBH moyen	+	

Tableau 5: Réponse de la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles aux variables de peuplement forestier et de contexte paysager retenues par la simplification d'un modèle linéaire généralisé pas à pas selon le critère AIC et le test de déviance..

Approche par guildes

Richesse spécifique par guildes

L'étude de la richesse spécifique par guildes n'a été abordée que pour les excavateurs primaires (7 espèces) et pour les nicheurs secondaires (4 espèces). Nos données comprennent en outre une seule espèce d'excavateur secondaire et une seule espèce d'oiseau non-cavicole.

La richesse spécifique d'excavateurs primaires ne varie pas significativement entre les classes définies par les caractéristiques des peuplements forestiers ($H=2,75$; $df=2$; $p>0,05$; $n_1=22$; $n_2=24$; $n_3=9$), par le contexte paysager ($H=0,46$; $df=2$; $p>0,05$; $n_1=9$; $n_2=26$; $n_3=20$) et par les pratiques de gestion ($H=0,31$; $df=2$; $p>0,05$; $n_1=15$; $n_2=35$; $n_3=5$). Elle varie cependant significativement entre les trois classes de % de *Grevillea robusta* établies à dire d'expert ($H=8,72$; $df=2$; $p<0,05$; $n_1=17$; $n_2=19$; $n_3=19$). Le test de Dunn indique que la richesse

d'excavateurs primaires de la classe 1 est supérieure celle de la classe 3 ($p < 0,05$). Les classes 1 et 2, 2 et 3 ne diffèrent pas significativement entre elles.

La richesse spécifique de nicheurs secondaires n'est significativement différente pour aucune des classes de peuplement forestier : ($H=2,98$; $df=2$, $p > 0,05$; $n_1=22$; $n_2=24$; $n_3=9$), de contexte paysager ($H=0,18$; $df=2$; $p > 0,05$; $n_1=9$; $n_2=26$; $n_3=20$), de pratiques de gestion ($H=0,20$; $df=2$; $p > 0,05$; $n_1=15$; $n_2=35$; $n_3=5$), et de % *Grevillea robusta* ($H=0,66$; $df=2$; $p > 0,05$; $n_1=17$; $n_2=19$; $n_3=19$)

Réponse aux variables d'habitat et variables géographiques par des GLM

La richesse spécifique des deux guildes répond différemment. Les excavateurs primaires sont affectés par le DBH maximum (Tableau 6) qui a un effet positif sur leur richesse. Le modèle simplifié des nicheurs secondaires contient 4 variables. La densité d'arbres (en excluant *Grevillea robusta*), le % de *G.robusta* et le DBH moyen des arbres ont un effet positif sur la richesse de nicheurs secondaires. Le % du couvert de la canopée a un effet négatif sur cette richesse.

Variable à expliquer	Variations explicatives retenues ($\alpha=0,05$)	Direction de la réponse	% Déviance expliquée par le modèle
Richesse spécifique des excavateurs primaires	DBH maximal	+	18,00%
Richesse spécifique des nicheurs secondaires	Densité d'arbres (sans <i>G.r</i>)	+	32,00%
	% de <i>G.r</i>	+	
	DBH moyen	+	
	% couvert de la canopée	-	

Tableau 6 Réponse de la richesse spécifique d'excavateurs primaires et de nicheurs secondaires aux variables d'habitat et de paysage retenues par la simplification d'un modèle linéaire généralisé pas à pas selon le critère AIC et le test de déviance

Richesse spécifique d'excavateurs primaires et nicheurs secondaires

D'après le test de corrélation non paramétrique de Spearman, la richesse spécifique des excavateurs primaires n'est pas corrélée à celle des nicheurs secondaires ($S=27191,45$; $p > 0,05$)

Approche par espèces

Réponse de la présence de six espèces par rapport aux variables de peuplement forestier et de contexte paysager

Nous avons sélectionné six espèces pour regarder leur réponse aux variables de peuplement forestier et de contexte paysager. Nous avons pris le seul excavateur secondaire (*Sitta frontalis*) et

la seule espèce non cavicole (*Celeus brachyurus*), deux excavateurs primaires de taille petite (*Picus chlorolophus*) et de taille plus importante (*Chrysocolaptes lucidus*) et deux nicheurs secondaires, un petit (*Psittacula columboides*) et un grand (*Ocyrceros grizeus*).

Le modèle de *Sitta frontalis* n'a pas pu être réalisé. Le nombre de détections est faible

Espèce d'oiseau	Variables explicatives	Direction de la réponse	% Déviance expliquée
<i>Picus chlorolophus</i>	Surface terrière	+	16,73%
	Richesse spécifique d'arbres (transect)	+	
<i>Chrysocolaptes lucidus</i>	Richesse spécifique d'arbres (transect)	+	14,40%
<i>Psittacula columboides</i>	DBH moyen	+	11,74
	Densité d'arbres (excluant <i>G.robusta</i>)	+	
<i>Ocyrceros grizeus</i>	DBH moyen	+	30%
	DBH maximal	+	
	Surface terrière	-	
	Densité d'arbres (excluant <i>G.robusta</i>)	+	
	% couvert de la canopée	-	
<i>Celeus brachyurus</i>	Hauteur moyenne des arbres	-	11,03%

Tableau 7 Réponse de la probabilité de présence de chaque espèce aux variables de peuplement forestier et de contexte et de paysager retenues par la simplification d'un GLM pas-à-pas selon le critère AIC et le test de déviance.

Co-occurrence entre espèces d'oiseaux

Les probabilités de co-occurrence de couple d'espèces ont été évaluées par la méthode de Monte Carlo (100 permutations). Seules les probabilités de co-occurrence entre *Dinopium javense*- *Picus chlorolophus* (0,16) et *Dinopium javense*- *Chrysocolaptes lucidus* (0,2) sont significatives.

Réponse de la présence de chaque nicheur secondaire par rapport à la présence de l'ensemble d'espèces cavicoles

La seule espèce qui répond à la présence de plusieurs espèces de cavicoles est *Ocyrceros grizeus* (Tableau 8). *Sitta frontalis* et *Psittacula cyanocephala* répondent à la présence d'une seule espèce cavicole.

Espèce d'oiseaux	Variables explicatives	Direction de la réponse	% Déviance expliquée
<i>Sitta frontalis</i>	<i>Dinopium javense</i>	-	10,34%
<i>Psittacula cyanocephala</i>	<i>Dendrocopos nanus</i>	-	38,73%
<i>Ocyrceros grizeus</i> *	<i>Dendrocopos nanus</i>	+	9%
	<i>Hemicircus canente</i>	+	

Tableau 8 Réponse de la présence de nicheurs secondaires à la présence des excavateurs primaires retenue par la simplification d'un modèle linéaire généralisé selon le critère AIC et le test de la déviance. *Variables retenues à un seuil de 10%

Co-occurrences entre espèces d'oiseaux et espèces d'arbres

Pour rechercher des associations éventuelles entre les espèces d'oiseaux aux espèces d'arbres présentes sur les sites, nous avons calculé les probabilités de co-occurrence entre les espèces d'oiseaux et les espèces d'arbres. La probabilité de co-occurrence entre chaque espèce d'oiseau et chaque espèce d'arbre a été calculée puis pondérée par la probabilité de présence de chaque espèce d'oiseau dans l'ensemble de l'étude. Cette pondération permet d'équilibrer les probabilités de co-occurrence dans les cas où les espèces d'oiseaux ont été détectées peu de fois. Une classification hiérarchique ascendante avec le critère d'agrégation de Ward a été réalisée en utilisant les probabilités de co-occurrence pondérées. Un test de bootstrap (1000 permutations) a été réalisé afin de tester la robustesse des embranchements (module *hpcvclust* dans R).

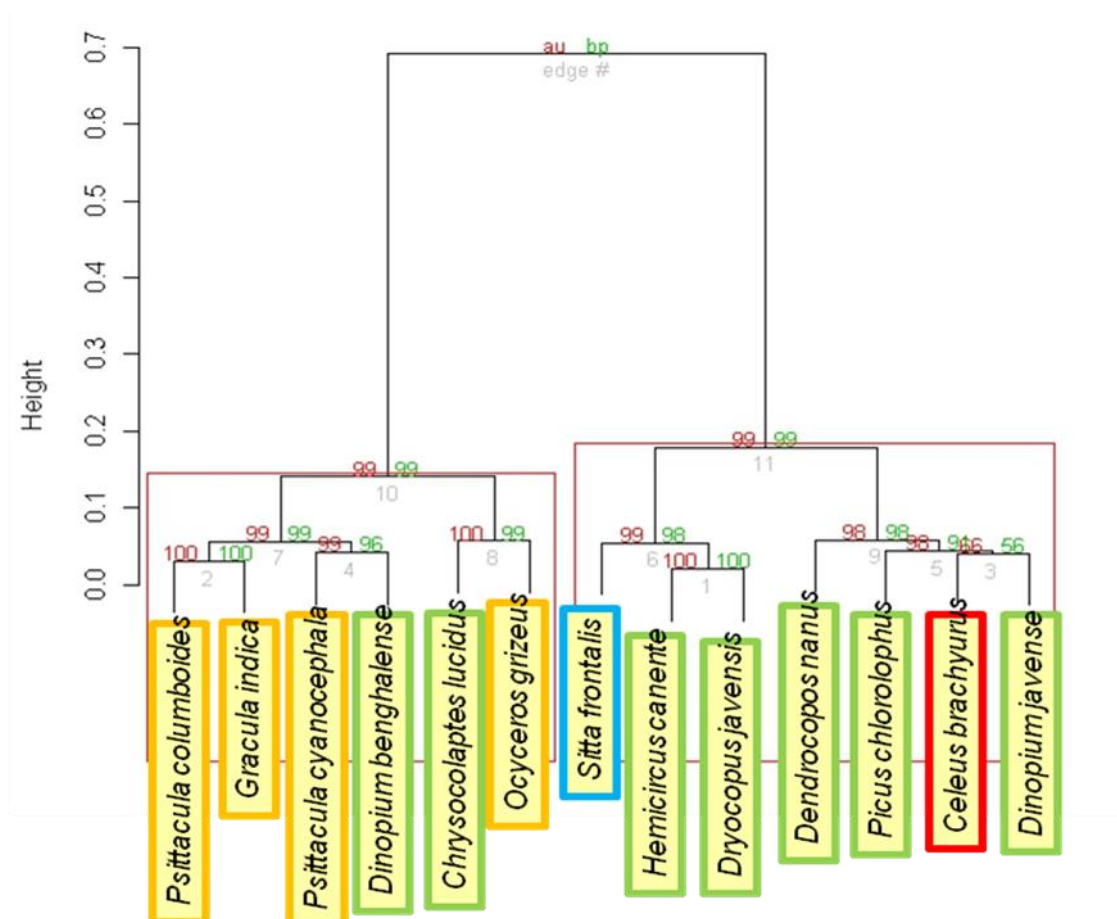


Figure 6 Dendrogramme issu de la classification hiérarchique ascendante des probabilités de co-occurrence entre chaque espèce d'oiseau et chaque espèce d'arbre. Chaque embranchement est défini par deux types de pvalue (AU=Approximately unbiased, BP=Bootstrap probability). Les deux rectangles rouges désignent les deux groupes fortement supportés par les données (AU>0,95). Les rectangles verts désignent les excavateurs primaires, les rectangles jaunes les nicheurs secondaires, le rectangle bleu l'excavateur secondaire et le rectangle rouge l'espèce non cavicole.

Discussion

Communauté d'oiseaux et richesse spécifique d'oiseaux cavicoles

La CCA montre que la communauté des oiseaux cavicoles est structurée principalement par le pourcentage de *Grevillea robusta* (Figure 2). La réponse des espèces d'oiseaux au pourcentage croissant de cette espèce est variable. Le pourcentage de *Grevillea* est négativement corrélé à l'ensemble des autres variables qui décrivent le peuplement forestier utilisées dans l'analyse, en particulier au DBH moyen et maximal, ainsi qu'à la richesse spécifique d'arbres. Lorsqu'il y a un basculement vers une plantation sous couvert de *Grevillea*, le DBH moyen ainsi que la richesse spécifique en autres arbres diminuent.

La richesse spécifique d'oiseaux cavicoles ne rend pas à elle seule bien compte de l'impact réel de la présence croissante de cette espèce sur la structure des communautés d'oiseaux. La richesse en oiseaux cavicoles semble diminuer avec une augmentation du pourcentage de *Grevillea*

(Figure 3). Les oiseaux cavicoles sont affectés à partir d'un seuil de 20%. Cette tendance de diminution semblerait être compensée par une augmentation de la densité d'arbres (Figure 4). Cependant, il n'y a pas une différence significative de cette richesse entre les sites où le chêne argenté est absent et les sites où il représente plus de 40% de l'ensemble des arbres présents. Le pourcentage de *Grevillea robusta* n'est qu'un des éléments qui peuvent affecter la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles. Dans le cas des plantations de café de Kodagu, l'utilisation d'autres espèces d'ombrage (*Areca catechu* par exemple), qui peuvent devenir dominantes, peut également affecter la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles de la même façon que *Grevillea*. Dans une CCA non présentée ici où la variable % d'*Areca* avait été conservée, elle montrait le même type de réponse que *Grevillea*, à savoir une opposition aux variables descriptives de peuplements forestiers plus naturels (DBH, richesse en espèces d'arbres). C'est pour avoir une vision plus exhaustive des relations entre oiseaux et habitat que nous avons classé les sites selon l'ensemble des caractéristiques des peuplements forestiers, du contexte paysager et des pratiques de gestion du café. Ces classifications bien qu'ayant abouti à la définition de classes assez faciles à caractériser, n'ont pas permis de montrer des différences significatives pour la richesse spécifique des cavicoles. Contrairement à ce que nous aurions pu attendre, la distance des sites à la forêt n'a pas une influence sur la richesse spécifique d'oiseaux cavicoles. Pourtant cet élément a prouvé être important pour les oiseaux dans les plantations de café dans plusieurs autres études (Perfecto et al. 2003; Anand et al. 2008). Il est possible que dans le cas des Ghâts le caractère relativement continu du couvert forestier seulement entrecoupé de lanières de rizière ne soit pas un obstacle à la dispersion des espèces cavicoles, malgré des différences croissantes dans la qualité de ces plantations avec le développement du chêne argenté et de l'*Areca*. Peut-être qu'en tenant en compte de la taille du patch de forêt source (non disponible pour cette étude exploratoire) et en distinguant explicitement le caractère dégradée ou non de la forêt, l'effet de la distance à des forêts sources d'espèces d'oiseaux pourrait être mis en évidence.

Richesse spécifique des guildes

La richesse d'excavateurs primaires est différente lorsque le chêne argenté est totalement absent ou présent à plus de 40 % dans les plantations, alors que la richesse des nicheurs secondaires n'est pas affectée. Les excavateurs primaires sont des indicateurs de l'impact du *Grevillea* et leur diminution voire leur disparition pourrait constituer un indicateur de dégradation de l'état écologique des plantations. Cependant il faut rester prudent quand on sait que la richesse de cette guildes n'est pas affectée pour les pourcentages intermédiaires (1-40% de *Grevillea robusta*). Il faudrait définir des classes de *Grevillea* plus pertinentes comme par exemple 0-20%, 20-40% et plus de 40 %. Il faudrait probablement et surtout, disposer d'un échantillon de sites plus

nombreux et plus diversifier en fonction de ce facteur (% d'espèces exotiques plantées) dont ce premier travail montre l'importance dans le processus de dégradation de la qualité écologique des plantations.

Les excavateurs primaires sont également affectés mais positivement cette fois par le DBH maximal des arbres. Cela veut dire qu'ils dépendent fortement des arbres à gros diamètre qui disparaissent progressivement avec l'introduction de *Grevillea*. Les nicheurs secondaires sont affectés positivement par le DBH moyen. Cependant il semble y avoir un effet positif sur ces espèces du % de *Grevillea* (Tableau 6). Les arbres de *Grevillea* pourraient représenter une ressource alimentaire pour ces espèces. Sur le terrain, j'ai personnellement observé plusieurs espèces d'oiseaux se nourrissant du nectar des fleurs de cette plante exotique et cela est très connu dans autres plantation de *Grevillea* dans autres pays (Kalinganire et al. 2001). Cependant la floraison de cet arbre est très tardive et n'intervient qu'au bout d'une dizaine d'année. Or les planteurs pour des raisons de rentabilité et de rotation du capital investi, récoltent de plus en plus souvent le bois de cette espèce avant qu'elle n'atteigne sa maturité sexuelle (Garcia C., personal communication). Les nicheurs secondaires sont positivement influencés par une densité d'arbres croissante. Ils ont une préférence pour un milieu à canopée moins dense (% couvert canopée déclinant).

La richesse en excavateurs primaires n'est pas corrélée à celle des nicheurs secondaires. Le faible nombre de nicheurs secondaires (4 espèces) ne suffit pas à mettre en évidence une relation positive avec les excavateurs primaires. Si cette relation existe, l'utilisation des excavateurs primaires comme indicateurs de la richesse des nicheurs secondaires serait possible.

Présence des espèces selon les caractéristiques des peuplements forestiers et du contexte paysager

Les deux espèces d'excavateurs primaires sont favorisées par une richesse spécifique d'arbres croissante. Cela peut s'expliquer d'une part par une diversification des ressources alimentaires associée à cette diversité et d'autre part par une diversification des types de substrat pour nicher. La petite espèce de pic (*Picus chlorolophus*) est positivement influencée par la surface terrière (G) dont les valeurs importantes sont associées aux forêts matures.

Le DBH moyen et la densité d'arbres ont un effet positif sur les deux nicheurs secondaires (*Psittacula columboides* et *Ocyrceros grizeus*). *O. grizeus* de taille plus importante, dépend du DBH maximal. Cette espèce a besoin d'arbres à diamètre important pour nicher (entre 60 à 95 cm de DBH (Maheswaran and Balasubramanian 2003; Mudappa and Kannan 1997). Il semblerait que cette espèce préfère les milieux forestiers relativement ouverts mais avec de gros arbres.

L'espèce non cavicole *Celeus brachyurus* semble préférer des arbres de faibles hauteurs. Le DBH moyen ne ressort pas comme un facteur qui joue sur la présence de toutes les espèces cavicoles. C'est le cas de *Chrysocolaptes lucidus*, pourtant le DBH moyen est un facteur qui explique la présence cette espèce. D'ailleurs cette espèce est associée à des forêts matures (Santharam 2006). La présence de cette espèce dans les plantations est probablement plus liée aux visites pour la recherche alimentaire que pour la nidification.

Co-occurrence d'oiseaux entre espèces d'oiseaux et espèces d'arbres

En ce qui concerne la probabilité de co-occurrence entre les couples d'espèces de nicheurs secondaires et les excavateurs primaires, seule la probabilité entre deux couples d'espèces de pics *Dinopium javense*- *Picus chlorolophus* (0,16) et *Dinopium javense*- *Chrysocolaptes lucidus* (0,2) sont significatives. Même si les valeurs de co-occurrence ne sont pas très fortes, il est possible que ces deux couples d'espèces aient des exigences écologiques similaires et donc utilisent le même type habitat.

La présence de l'ensemble d'espèces de pics explique la présence d'une seule espèce, *Ocyceros grizeus*. Les deux espèces de pics (*Hemicircus canente* et *Dendrocopos nanus*) ont des exigences écologiques très différentes que *O.grizeus*. Le lien est probablement dû au hasard. On a tenté de trouver des pistes sur des associations entre les excavateurs primaires et les nicheurs secondaires. Il semble que dans notre étude ces espèces ne montrent pas de lien particulier. Des interactions positives (utilisation des cavités des pics par les nicheurs secondaires) et des interactions négatives (compétition pour les cavités) ont pourtant été observées (Santharam 1998, 2004) dans la zone. Il faudrait aborder cet aspect directement en étudiant l'utilisation des cavités et en utilisant d'avantages d'espèces de nicheurs secondaires. Se pose également la question de la taille et de la diversité de notre échantillon.

Par rapport à la composition en espèces d'arbres nous distinguons deux groupes d'espèces d'oiseaux (Figure 6). Chaque groupe rassemble les espèces d'oiseaux se trouvant dans un habitat de composition floristique similaire. On pourrait supposer que les membres de chaque groupe exploitent les ressources de façon analogue. D'un côté on trouve les nicheurs secondaires plus deux espèces de pics. En excluant les pics, les nicheurs secondaires sont principalement des frugivores-nectarivores. Alors que l'autre groupe est formé par des insectivores.

Méthodologie

La repasse de chant est une méthode utilisée avec succès pour l'échantillonnage des pics. Mais elle nécessite une étape de préparation assez longue et délicate. Le succès de la méthode repose sur le choix des chants. Un mauvais choix peut affecter la détectabilité des oiseaux. L'étape

préliminaire de test est une étape primordiale pour ce type d'étude. Dans le cas de mon étude, une espèce n'a pas été détectée (*Picus xanthopygaeus*). A cause d'une contrainte de temps (matériel bloqué pendant un mois à la douane), l'étape de test pour mon étude a été plus brève que prévue. Il est possible que le choix du chant (seul chant disponible pour cette espèce) ait été erroné ou pas assez typique pour provoquer la réaction attendue. Cependant une autre étude réalisée dans la même zone a montré que cette espèce est rare dans les plantations de café (Raman 2006). Il semble de plus qu'elle ait une préférence pour les milieux ouverts (Santharam 2006) ce qui peut expliquer qu'elle n'a pas été détectée dans les sites étudiés. Lorsqu'on utilise cette méthode pour échantillonner plusieurs espèces, une difficulté peut se présenter au niveau des interactions négatives qui peuvent exister entre deux espèces. Ceci peut influencer la manifestation d'une des deux espèces. Le temps de pause entre la repasse de chant de chaque espèce est alors très important. Dans mon étude, ce type d'incident n'a pas été observé. Des différences sur la probabilité de détection d'espèces peuvent exister dans les plantations. Il faudrait comparer la probabilité de détection entre les différents types de plantations afin de conclure que les patrons de différences observés ne sont pas liés à des différences de probabilité de détection. Pour augmenter les chances de détecter une espèce, il serait également intéressant de coupler cette méthode avec une deuxième méthode d'échantillonnage comme les points d'écoute par exemple. Pour des raisons de temps disponible sur le terrain, les points d'écoute n'ont pas pu être réalisés. Pour les mêmes raisons j'ai choisi de retour au laboratoire de concentrer les efforts sur la partie écologique de l'étude plutôt que sur la fiabilité de la détection des espèces. Les données existent pour le faire ultérieurement.

Dans le cas de mon étude, le nombre de sites visités a fortement influencé les résultats obtenus. Certaines espèces qui ont été détectées peu de fois, n'ont pas pu être incluses dans certaines analyses. Il faudrait échantillonner plus de sites pour avoir un gradient plus large de type d'habitats et ainsi augmenter les chances de détecter des espèces. Sur le terrain j'ai choisi pour plusieurs raisons d'effectuer deux passages sur 55 sites plutôt qu'un seul sur 110 sites. Mon idée était d'avoir des données plus fiables et d'avoir une évaluation de la répétabilité de la méthode. Au final comme j'ai été amenée à travailler dans le cadre de ce mémoire uniquement sur le volet écologique, le nombre limité de sites est clairement un handicap à la fois en termes de représentativité des données et en termes de robustesse des résultats. Pour essayer d'augmenter la robustesse, nous avons quand même utilisé des méthodes de bootstrapping et de simulations de Montecarlo. Toutefois compte tenu des conditions matérielles de déplacement sur le terrain, il m'aurait été difficile dans le temps imparti de trouver et d'explorer 110 sites différents. Mon

travail est exploratoire et les résultats obtenus sont malgré les difficultés rencontrées encourageants.

Pour finir par une lapalissade, les oiseaux sont des organismes très mobiles. Les associer à un type d'habitat est complexe car cette relation relève d'un nombre de facteurs potentiellement élevé, de nature diversifiée et intervenant à des échelles spatiales très différentes. Dans le cadre de notre étude, j'ai essayé de voir comment les espèces étaient associées à la diversité des types de plantations de café que l'on rencontre dans le district de Kodagu. Les oiseaux cavicoles, là comme ailleurs, ont besoin de deux types de ressources : des cavités pour nicher et des ressources alimentaires pour eux et pour les jeunes. Dans notre étude pour aller plus loin dans l'analyse et dans la compréhension des multiples liens qui existent entre oiseau et habitat, il serait intéressant d'échantillonner et de localiser directement les nids dans l'ensemble des plantations de café. Ainsi, au-delà du temps nécessaire à ce type d'étude, il serait possible de décrire leurs préférences d'habitat de façon beaucoup plus pertinente. Pour détecter les nids, la repasse de chant utilisée serait un bon outil.

Conclusion

Malgré son caractère limité, cette étude sur les oiseaux cavicoles en tant qu'indicateurs est la première réalisée dans le district de Kodagu au cœur des Ghats Occidentaux. Elle montre que la dynamique de remplacement progressif des espèces d'arbres tropicaux par des espèces exotiques à croissance rapide affecte de façon négative la richesse globale des communautés d'oiseaux cavicoles. Elle montre aussi que les excavateurs primaires dont la présence conditionne en partie la présence des autres groupes de cavicoles, est le groupe le plus affecté. Les excavateurs primaires peuvent être utilisés comme indicateurs de l'impact de *Grevillea robusta*. Aussi malgré les limites de ce travail, les résultats obtenus peuvent aider à prendre conscience localement du problème et à dire que la présence de *G. robusta* jusqu'à une certaine proportion, n'est pas complètement nuisible pour la communauté d'oiseaux cavicoles. Ainsi il peut y avoir un compromis entre la conservation de la biodiversité et la satisfaction des nécessités des planteurs.

Bibliographie

- Aitken KEH, Martin K. 2007. The importance of excavators in hole-nesting communities: availability and use of natural tree holes in old mixed forests of western Canada. *Journal of Ornithology* 148: S425-S434.
- Allen T, Finkbeiner SL, Johnson DH. 2004. Comparison of detection rates of breeding marsh birds in passive and playback surveys at Lacreek National Wildlife Refuge, south Dakota. *Waterbirds* 27(3): 277-281.
- Anand MO, Krishnaswamy J, Das A. 2008. Proximity to forests drives bird conservation value of coffee plantations: Implications for certification. *Ecological Applications* 18(7): 1754-1763.
- Anonyme. 1999. Inventory Methods for Woodpeckers. British Columbia.
- Bani L, Massimino D, Bottoni L, Massa R. 2006. A multiscale method for selecting indicator species and priority conservation areas: A case study for broadleaved forests in Lombardy, Italy. *Conservation Biology* 20(2): 512-526.
- Blanc LA, Walters JR. 2007. Cavity-nesting community webs as predictive tools: where do we go from here? *Journal of Ornithology* 148: S417-S423.
- Boscolo D, Metzger JP, Viellard JME. 2006. Efficiency of playback for assessing the occurrence of five bird species in Brazilian Atlantic Forest fragments. *Anais Da Academia Brasileira De Ciencias* 78(4): 629-644.
- Cheyrier L. 2006. Emergence of a private forestry sector in the Western Ghats. Rapport de Master 2, CIRAD, Montpellier, France.
- Cincotta RP, Wisniewski J, Engelman R. 2000. Human population in the biodiversity hotspots. *Nature* 404(6781): 990-992.
- Conway CJ, Sulzman C, Raulston BE. 2004. Factors affecting detection probability of California black rails. *Journal of Wildlife Management* 68(2): 360-370.
- Cruz-Angon A, Greenberg R. 2005. Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology* 42(1): 150-159.
- Decroix M, Chretien F. 2007. Agriculture et biodiversité. Caractérisation des systèmes agroforestiers à base de café Rapport de Master 2, Institut des Régions Chaudes, Montpellier, France.
- Del Hoyo J, Elliot A, Sargatal J. 2002. Handbook of the birds of the world. Bird Life International, 613.
- DesRochers DW, Gee HKW, Reed JM. 2008. Response of Hawaiian Moorhens to broadcast of conspecific calls and a comparison with other survey methods. *Journal of Field Ornithology* 79(4): 448-457.
- Donald PF. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18(1): 17-37.
- Drever MC, Aitken KEH, Norris AR, Martin K. 2008. Woodpeckers as reliable indicators of bird richness, forest health and harvest. *Biological Conservation* 141(3): 624-634.
- Dudley J, Saab V. 2003. A field protocol to monitor cavity-nesting birds. Forest Service(Rocky Mountain Research Station): 16.
- Garcia CA, Bhagwat SA, Ghazoul J, Nath CD, Nanaya KM, Kushalappa CG, et al. 2009. Biodiversity conservation in agricultural landscapes: Challenges and Opportunities of coffee agroforests in the Western Ghats, India. *Conservation Biology* 24(2): 10.
- Garcia-del-Rey E, Fernandez-Palacios JM, Munoz PG. 2009. Intra-annual variation in habitat choice by an endemic woodpecker: Implications for forest management and conservation. *Acta Oecol-Int J Ecol* 35(5): 685-690.
- Gokula V, Venkatraman C, Saravanan S, Swetharanyam S. 1999. Inter- and intraspecific variation in the resource use of blossomheaded and bluewinged parakeets in Siruvani, Tamil Nadu, India. *Journal of the Bombay Natural History Society* 96(2): 225-231.

- Greenberg R, Bichier P, Angon AC, Reitsma R. 1997b. Bird populations in shade and sun coffee plantations in central Guatemala. *Conservation Biology* 11(2): 448-459.
- Greenberg R, Bichier P, Sterling J. 1997a. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29(4): 501-514.
- Hannah L, Lohse D, Hutchinson C, Carr JL, Lankerani A. 1994. A Preliminary inventory of human disturbance of world ecosystems. *Ambio* 23(4-5): 246-250.
- Jha CS, Dutt CBS, Bawa KS. 2000. Deforestation and land use changes in Western Ghats, India. *Current Science* 79(2): 231-238.
- Kalinganire A, Harwood CE, Slee MU, Simons AJ. 2001. Pollination and fruit-set of *Grevillea robusta* in western Kenya. *Austral Ecol* 26(6): 637-648.
- Lapchin L, Boll. R. 1981. Utilisation de la typologie automatique pour la mise au point d'un échantillonnage stratifié, en vue de l'étude des relations plante hôte-pucerons en vergers de pêcheurs. *Agronomie*(1): 587-594.
- Maheswaran B, Balasubramanian P. 2003. Nest tree utilization by the Malabar Grey Hornbill *Ocyrceros griseus* in the semi-evergreen forest of Mudumalai Wildlife Sanctuary (S India). *Acta Ornithologica* 38(1): 33-37.
- Martin K, Eadie JM. 1999. Nest webs: A community-wide approach to the management and conservation of cavity-nesting forest birds. *For Ecol Manage* 115(2-3): 243-257.
- Mas AH, Dietsch TV. 2003. An index of management intensity for coffee agroecosystems to evaluate butterfly species richness. *Ecological Applications* 13(5): 1491-1501.
- Mikusiński G, Gromadzki M, Chylarecki P. 2001. Woodpecker as indicators of forest bird diversity. *Conservation Biology* 15(1): 208-217.
- Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1): 11-21.
- Mudappa DC, Kannan R. 1997. Nest-site characteristics and nesting success of the Malabar Gray Hornbill in the southern Western Ghats, India. *Wilson Bulletin* 109(1): 102-111.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772): 853-858.
- Niemi GJ, McDonald ME. 2004. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35: 89-111.
- Perfecto I, Mas A, Dietsch T, Vandermeer J. 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 12(6): 1239-1252.
- Raman TRS. 2006. Effects of habitat structure and adjacent habitats on birds in tropical rainforest fragments and shaded plantations in the Western Ghats, India. *Biodiversity and Conservation* 15(4): 1577-1607.
- Ratcliffe N, Vaughan D, Whyte C, Shepherd M. 1998. Development of playback census methods for Storm Petrels *Hydrobates pelagicus*. *Bird Study* 45: 302-312.
- Rios-Chelen AA, Garcia CM. 2007. Responses of a sub-oscine bird during playback: Effects of different song variants and breeding period. *Behavioural Processes* 74(3): 319-325.
- Roberge JM, Angelstam P, Villard MA. 2008. Specialised woodpeckers and naturalness in hemiboreal forests - Deriving quantitative targets for conservation planning. *Biological Conservation* 141(4): 997-1012.
- Santharam V. 1998. Nest usurpation in woodpeckers. *Journal of the Bombay Natural History Society* 95(2): 344-345.
- Santharam V. 2004. Woodpecker holes used for nesting by secondary cavity-nesters in the Western Ghats, India. *Journal of the Bombay Natural History Society* 101(1): 158-159.

- Santharam V. 2006. Nesting ecology of sympatric woodpeckers of the Western Ghats, India. *Journal of the Bombay Natural History Society* 2-3(103): 202-214.
- Scott VE, Keith EE, Patton DR, Stone CP. 1977. Cavity-nesting birds of North American forests. *Agriculture Handbook* 511: 112.
- Sheil D, Ducey MJ, Sidiyasa K, Samsoedin I. 2003. A new type of sample unit for the efficient assessment of diverse tree communities in complex forest landscapes. *Journal of Tropical Forest Science* 15(1): 117-135.
- Sutherland WJ. 2006. *Ecological Census Techniques : a handbook* Second Edition. Cambridge University Press: 432.